

DIN 6800-2**DIN**

ICS 17.240

Ersatz für
DIN 6800-2:1997-10**Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung –****Teil 2: Dosimetrie hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung mit Ionisationskammern**

Procedures of dosimetry with probe type detectors for photon and electron radiation –
Part 2: Ionization chamber dosimetry of high energy photon and electron radiation

Méthodes dosimétriques à l'aide de sondes pour les rayonnements photonique et électronique –

Partie 2: Dosimétrie des rayonnements photonique et électronique à haute énergie avec chambres d'ionisation

Gesamtumfang 62 Seiten

Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Messprinzip und Messverfahren	10
5 Auswahl der Bauart von IONISATIONSKAMMERN für die Dosismessung und für die Ermittlung von Dosisverteilungen	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 PHOTONENSTRAHLUNG mit Grenzenergien von 1 MeV bis 50 MeV	10
5.3 ELEKTRONENSTRAHLUNG mit Energien von 3 MeV bis 50 MeV	10
6 Allgemeines zur Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS	11
6.1 Gleichung zur Ermittlung der WASSER-ENERGIEDOSIS	11
6.2 KALIBRIERFAKTOR und BEZUGSBEDINGUNGEN	12
6.3 EINFLUSSGRÖSSEN und KORREKTIONSFAKTOREN	13
6.4 REFERENZBEDINGUNGEN für die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei PHOTONEN- und ELEKTRONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern	13
6.5 Nicht-Referenzbedingungen und zugehörige KORREKTIONSFAKTOREN	14
6.6 PHANTOM	14
6.7 Positionierung von IONISATIONSKAMMERN bei der Messung	14
6.7.1 BEZUGSPUNKTE von KOMPAKTKAMMERN und FLACHKAMMERN	14
6.7.2 Positionierung von KOMPAKTKAMMERN	14
6.7.3 Positionierung von FLACHKAMMERN	15
7 Ermittlung der strahlungsqualitätsunabhängigen KORREKTIONSFAKTOREN	16
7.1 KORREKTIONSFAKTOR k_p für den Einfluss der Luftdichte	16
7.2 KORREKTIONSFAKTOR k_h für den Einfluss der Luftfeuchte	16
7.3 KORREKTIONSFAKTOR k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung	16
7.4 KORREKTIONSFAKTOR k_p für den Einfluss der Polarität der Kammeranspannung	17
7.5 KORREKTIONSFAKTOR k_T für andere Temperatureffekte als die Änderung der Luftdichte	18
7.6 KORREKTIONSFAKTOR k_r für den Einfluss der unterschiedlichen Positionierung von KOMPAKTKAMMERN bei der Kalibrierung und bei der Messung	18
8 Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei PHOTONENSTRAHLUNG	20
8.1 Kennzeichnung und Ermittlung der STRAHLUNGSQUALITÄT	20
8.2 Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS unter REFERENZBEDINGUNGEN	21
8.2.1 Bedeutung des KORREKTIONSFAKTORS k_Q	21
8.2.2 Experimentelle Werte des KORREKTIONSFAKTORS k_Q	21
8.2.3 Berechnete Werte des KORREKTIONSFAKTORS k_Q	21
8.3 Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS unter Nicht-Referenzbedingungen	26
8.3.1 Allgemeines	26
8.3.2 Werte des KORREKTIONSFAKTORS k_{NR}	26
9 Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei ELEKTRONENSTRAHLUNG	26
9.1 STRAHLUNGSQUALITÄT und REFERENZTIEFE	26
9.1.1 Kennzeichnung und Ermittlung der STRAHLUNGSQUALITÄT	26
9.1.2 Festlegung der Referenztiefe	27
9.2 Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS unter REFERENZBEDINGUNGEN	27
9.2.1 Bedeutung des KORREKTIONSFAKTORS k_E	27
9.2.2 Experimentelle Werte des KORREKTIONSFAKTORS k_E	27
9.2.3 Berechnung des KORREKTIONSFAKTORS k_E	27
9.2.4 Berechnung von k'_E	28
9.2.5 Berechnung von k''_E	28
9.3 Messungen unter Nicht-Referenzbedingungen	33
9.3.1 Allgemeines	33

9.3.2	Berechnung des KORREKTIONSFAKTORS k_{NR}	34
9.3.3	Einfluss der FELDGRÖSSE.....	36
10	Messunsicherheitsanalyse	37
10.1	Allgemeines	37
10.2	MESSUNSICHERHEITEN bei der Ermittlung der WASSER-ENERGIEDOSIS	37
10.3	MESSUNSICHERHEITEN der Eingangsgrößen	38
10.3.1	KALIBRIERFAKTOR N	38
10.3.2	Um die Nullanzeige M_0 verminderte ANZEIGE M des Dosimeters	38
10.3.3	Korrektur für den Einfluss der Luftdichte k_p	38
10.3.4	Korrektur für den Einfluss der Luftfeuchte k_h	38
10.3.5	Korrektur für den Einfluss der unvollständigen Sättigung k_s	39
10.3.6	Korrektur für den Einfluss der Polarität der Kammerstromung k_p	39
10.3.7	Korrektur für andere Temperatureffekte als die Änderung der Luftdichte k_T	39
10.3.8	Korrektur für die Abweichung von REFERENZBEDINGUNGEN k_{NR}	39
10.3.9	Korrektur für den Einfluss der STRAHLUNGSQUALITÄT der PHOTONENSTRAHLUNG k_Q	40
10.3.10	Korrektur für den Einfluss der STRAHLUNGSQUALITÄT der ELEKTRONENSTRAHLUNG k_E	40
10.4	Beispiele des Messunsicherheitsbudgets für Messungen der WASSER-ENERGIEDOSIS unter REFERENZBEDINGUNGEN	40
Anhang A (normativ)	Korrektur der unvollständigen Sättigung	44
A.1	Experimentelle Bestimmung des KORREKTIONSFAKTORS k_s	44
A.2	Bestimmung des KORREKTIONSFAKTORS k_s für ausgewählte IONISATIONSKAMMERN	46
Anhang B (informativ)	Berechnung der strahlungsqualitätsabhängigen KORREKTIONSFAKTOREN	49
B.1	Verfahren zur Berechnung der KORREKTIONSFAKTOREN von IONISATIONSKAMMERN als Bragg-Gray-Sonden	49
B.2	Zur Positionierung von KOMPAKTKAMMERN und FLACHKAMMERN	52
B.2.1	Berücksichtigung des Verdrängungseffektes bei KOMPAKTKAMMERN	52
B.2.2	Berücksichtigung des Kammermaterials und des Verdrängungseffektes bei FLACHKAMMERN	52
B.3	Verfahren zur Berechnung des KORREKTIONSFAKTORS k_Q für PHOTONENSTRAHLUNG	53
B.3.1	Ermittlung von k'_Q für KOMPAKTKAMMERN	53
B.3.2	Ermittlung von k''_Q für KOMPAKTKAMMERN	53
B.3.3	Ermittlung des KORREKTIONSFAKTORS k_Q für FLACHKAMMERN	54
B.4	Verfahren zur Berechnung des KORREKTIONSFAKTORS k_E für ELEKTRONENSTRAHLUNG	54
B.4.1	Ermittlung von k'_E	54
B.4.2	Ermittlung von k''_E	54
Anhang C (normativ)	Experimentelle Ermittlung von k''_E für FLACHKAMMERN	56
Anhang D (informativ)	Der Einfluss der Luftfeuchte auf das ANSPRECHVERMÖGEN	57
Literaturhinweise		58
Stichwortverzeichnis		61

Bilder

- Bild A.1** — Beispiel eines Jaffé-Diagramms einer FLACHKAMMER. Aufgetragen sind die Kehrwerte der Mittelwerte der bei positiver und negativer Kammerstromung erhaltenen MESSWERTE gegen die Kehrwerte der Kammerstromung. Der lineare Bereich erstreckt sich etwa von 50 V bis 200 V (aus [4]) 45
- Bild D.1** — Abhängigkeit der Luftdichte, des W -Wertes, des MASSEN-STOSSBREMSVERMÖGENS und des KORREKTIONSFAKTORS für die Luftfeuchte von der relativen Luftfeuchte. Dargestellt ist jeweils das Verhältnis des Wertes der jeweiligen Größe bei der entsprechenden Luftfeuchte zum Wert bei der relativen Feuchte von 50 %. Die Abbildung gilt für einen Luftdruck von 101,325 kPa und eine Temperatur von 20 °C 57

Tabellen

Tabelle 1 — Zusammenstellung der EINFLUSSGRÖSSEN und der BEZUGSBEDINGUNGEN	12
Tabelle 2 — Geometrische REFERENZBEDINGUNGEN für die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei PHOTONEN- und ELEKTRONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern	13
Tabelle 3 — Elektronendichte (Elektronenzahl/Volumen) $\rho_e = (\rho/m_u) (Z/A_r)_{\text{eff}}^a$ für einige Stoffe	15
Tabelle 4 — Berechnung des Korrektionsfaktors k_S : Werte für die in Gleichung (3) einzusetzenden Koeffizienten, angegeben für typische Bauarten von IONISATIONSKAMMERN, sowie Gültigkeitsbereiche von Gleichung (3) für die Dosis pro Puls D^p und Kammerspannung U	17
Tabelle 5 — Werte des Korrektionsfaktors k_r für Kompaktkammern	19
Tabelle 6 — Werte des KORREKTIONSFAKTORS k_Q für den Bereich hochenergetischer PHOTONENSTRAHLUNG mit einem STRAHLUNGSQUALITÄTSINDEX zwischen 0,5 und 0,84. Diese Werte wurden aus den Werten von k_Q nach TRS 398 durch Multiplikation mit dem Faktor $(p_{\text{dis}})_{\text{Co}}/(p_{\text{dis}})_Q$ erhalten (siehe B.2.1)	22
Tabelle 7 — Für die Berechnung von k_E'' benötigte Werte des Innenradius r des Kammervolumens von KOMPAKTKAMMERN, des Wand-Störungsfaktors $(p_{\text{wall}})_{\text{Co}}$ für ^{60}Co -Gammastrahlung und des Verhältnisses der Störungsfaktoren $\frac{(p_{\text{cel}})_{R_{50}}}{(p_{\text{cel}})_{\text{Co}}}$ nach TRS 398	29
Tabelle 8 — Beispiele für berechnete Werte von k_E'' für ELEKTRONENSTRAHLUNG als Funktion der STRAHLUNGSQUALITÄT R_{50} für eine Reihe von KOMPAKTKAMMERN.	31
Tabelle 9 — Werte von k_E'' für einige Bauarten von FLACHKAMMERN, die nach dem in Anhang C angegebenen Verfahren experimentell ermittelt wurden	33
Tabelle 10 — Verhältnis der beschränkten Massen-Stoßbremsvermögen von Wasser zu Luft als Funktion der auf die HALBWERTTIEFE bezogenen Tiefe nach Gleichung (19). Die Tabellenwerte dienen nicht zur Auswertung, sondern zur Veranschaulichung und Kontrolle	35
Tabelle 11 — Messunsicherheitsbudget für die Dosimetrie hochenergetischer PHOTONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern mit KOMPAKTKAMMERN	40
Tabelle 12 — Messunsicherheitsbudget für die Dosimetrie hochenergetischer ELEKTRONENSTRAHLUNG mit KOMPAKTKAMMERN	41
Tabelle 13 — Messunsicherheitsbudget für die Dosimetrie hochenergetischer ELEKTRONENSTRAHLUNG mit FLACHKAMMERN	43
Tabelle B.1 — Werte des Faktors $k_Q' = (s_{w,a}^\Delta)_Q / (s_{w,a}^\Delta)_{\text{Co}}$ für $\Delta = 10$ keV in Abhängigkeit vom STRAHLUNGSQUALITÄTSINDEX Q für eine Tiefe von 10 cm, einem Fokus-Oberflächen-Abstand von 100 cm und einer FELDGRÖSSE von 10 cm × 10 cm in der Messtiefe. Die in [25] angegebenen Zahlenwerte der Massen-Stoßbremsvermögensverhältnisse für die STRAHLUNGSQUALITÄT Q wurden durch das Massen-Stoßbremsvermögensverhältnis 1,133 für ^{60}Co -Gammastrahlung dividiert	53

Vorwort

Dieses Dokument (DIN 6800-2:2008-03) wurde vom Normenausschuss Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft sowie in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik und der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Reihe DIN 6800 *Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung* besteht aus:

- *Teil 1: Allgemeines zur Dosimetrie von Photonen- und Elektronenstrahlung nach der Sondenmethode*
- *Teil 2: Dosimetrie hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung mit Ionisationskammern*
- *Teil 4: Filmdosimetrie*
- *Teil 5: Thermolumineszenzdosimetrie*

Änderungen

Gegenüber DIN 6800-2:1997-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Titel wurde geändert, da der Anwendungsbereich die Röntgenstrahlung mit Erzeugungsspannungen unter 1 MV nicht mehr umfasst. Die Dosimetrie von Röntgenstrahlung mit Erzeugungsspannungen unter 1 MV wird im Rahmen der Neufassung der Normenreihe DIN 6809 behandelt.
- b) Die Gliederung der Norm ist praxisnah gestaltet: Die Messverfahren sind in den Abschnitten 6 bis 9 und die dazugehörige Messunsicherheitsanalyse ist in Abschnitt 10 festgelegt. Die zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge sind in den Anhängen dargestellt.
- c) Für die Elektronendosimetrie werden zur Berechnung der MASSEN-STOSSBREMSVERMÖGEN anstelle des Ersatz-Anfangsenergie-Verfahrens Methoden verwendet, die aus den in TRS 398 IAEA Code of Practice angegebenen Verfahren hergeleitet wurden.
- d) Als Referenztiefe in der Elektronendosimetrie wird nicht mehr die Tiefe des Dosismaximums, sondern die in TRS 398 festgelegte Referenztiefe verwendet.
- e) FLACHKAMMERN werden nicht mehr bei ELEKTRONENSTRAHLUNG an KOMPAKTKAMMERN angeschlossen, sondern ebenfalls bei ^{60}Co -Gammastrahlung kalibriert. Für einige gebräuchliche FLACHKAMMERN werden die zur Verwendung bei ELEKTRONENSTRAHLUNG erforderlichen KORREKTIONSFAKTOREN angegeben.
- f) Die Ermittlung der MESSUNSICHERHEIT wird gefordert. Das Verfahren für die Messunsicherheitsanalyse wird dargelegt, und Werte für die relativen STANDARDMESSUNSICHERHEITEN der in der Norm behandelten Komponenten werden angegeben.
- g) Die Daten für die Berechnung der KORREKTIONSFAKTOREN und Wechselwirkungskoeffizienten beruhen nicht mehr auf TRS 277 IAEA Code of Practice von 1987 [1], sondern es wurden neuere Daten verwendet, die TRS 398 entnommen wurden. Damit wird internationale Konsistenz in den Ergebnissen der Dosisermittlung gesichert.

Frühere Ausgaben

DIN 6800-2: 1980-06, 1997-10

1 Anwendungsbereich

Diese Norm enthält Regeln zur Ermittlung der WASSER-ENERGIEDOSIS in Wasser und WASSER-ENERGIEDOSIS-LEISTUNG in Wasser mit offenen luftgefüllten IONISATIONSKAMMERN nach dem Sondenverfahren bei Dosismessungen für die perkutane Strahlentherapie mit ^{60}Co -Gammastrahlung und mit Bremsstrahlung bei Erzeugungsspannungen im Bereich von 1 MV bis 50 MV sowie mit ELEKTRONENSTRAHLUNG bei Energien von 3 MeV bis 50 MeV. Messaufgaben sind die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS unter REFERENZ-BEDINGUNGEN, unter Nicht-Referenzbedingungen sowie die Messung von relativen Dosisverteilungen in Wasser.

Geschlossene IONISATIONSKAMMERN sind für die Messaufgaben nach dieser Norm nicht zu verwenden.

Allgemeine Regeln zum Sondenverfahren in der Dosimetrie enthält DIN 6800-1. Anforderungen an Dosimeter mit IONISATIONSKAMMERN zur Messung von hochenergetischer Photonen- und ELEKTRONENSTRAHLUNG sind in DIN EN 60731:2006-09 festgelegt. Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Dosimetrie für die Strahlentherapie sind in dieser Norm nicht festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1319-1:1995-01, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 1: Grundbegriffe*

DIN 6800-1, *Dosismessverfahren in der radiologischen Technik — Allgemeines zur Dosimetrie von Photonen- und Elektronenstrahlung nach der Sondenmethode*

DIN 6800-5:2005-04, *Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung — Teil 5: Thermolumineszenzdosimetrie*

DIN 6814-2:2000-07, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 2: Strahlungsphysik*

DIN 6814-3, *Begriffe in der radiologischen Technik — Teil 3: Dosisgrößen und Dosiseinheiten*

DIN EN 60731:2006-09, *Medizinische elektrische Geräte — Dosimeter mit Ionisationskammern zur Anwendung in der Strahlentherapie (IEC 60731:1997 + A1:2002); Deutsche Fassung EN 60731:1997 + A1:2002*

E DIN IEC 60050-394, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch — Teil 394: Nukleare Instrumentierung: Geräte (IEC 1/1939/CDV:2004)*

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

96/708815 DC, *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (IVM 2:1993)*, deutsch: *Internationales Wörterbuch der Metrologie*, 2. Auflage 1994, Deutsches Institut für Normung — Beuth-Verlag

TRS 398, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water*. International Atomic Energy Agency (2000), Wien

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 6800-1, DIN 6814-2:2000-07, DIN 6814-3, DIN EN 60731:2006-09, E DIN IEC 60050-394 und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Der bei einigen Begriffen in spitzen Klammern angegebene Begriff <Sondenmethode> kennzeichnet den Anwendungsbereich der Definition.

3.1

Ansprechvermögen

R

<Sondenmethode> Quotient aus der um die Nullanzeige M_0 verminderten ANZEIGE M und dem Wert der sie verursachenden DOSIS D

3.2

Anzeige

M

durch ein Messgerät zur Verfügung gestellter Wert einer Größe

[IVM 2:1993]

ANMERKUNG Die Größe kann die MESSGRÖSSE, ein Messsignal oder eine andere Größe sein, die zur Errechnung des Wertes der MESSGRÖSSE zu benutzen ist.

3.3

Bezugsbedingungen

Bedingungen, unter denen alle EINFLUSSGRÖSSEN und Geräteparameter ihre BEZUGSWERTE annehmen

[DIN EN 60731:2006-09]

ANMERKUNG Davon zu unterscheiden sind die REFERENZBEDINGUNGEN (siehe 3.22).

3.4

Bezugspunkt

<Sondenmethode> vom HERSTELLER angegebener Punkt der IONISATIONSKAMMER, durch dessen Lage im Raum die Position der IONISATIONSKAMMER gekennzeichnet wird

3.5

Bezugswert

Wert einer EINFLUSSGRÖSSE (oder Geräteparameter), der für Bezugszwecke ausgewählt wurde, d. h. ein Wert einer EINFLUSSGRÖSSE (oder Geräteparameter), bei dem der KORREKTIONSFaktor bezüglich der Abhängigkeit von dieser EINFLUSSGRÖSSE (oder Geräteparameter) den Wert eins annimmt

[DIN EN 60731:2006-09]

3.6

Einflussgröße

jede externe Größe, die das Betriebsverhalten eines Gerätes beeinflussen kann

[DIN EN 60731:2006-09]

ANMERKUNG EINFLUSSGRÖSSEN können als Störgrößen von außen einwirken (Temperatur, Luftfeuchte, Netzspannung usw.), als Geräteeigenschaften aus dem Gerät selbst stammen (Nullpunktwanderung, Alterung der Bauteile, Anlaufzeit usw.) oder als einstellbare Hilfsgrößen, die zur Ausführung der Messung notwendig sind, in Erscheinung treten (z. B. die STRAHLUNGSQUALITÄT oder die Strahleneinfallsrichtung bei der Messung der DOSIS).

3.7

Energieabhängigkeit

Abhängigkeit des ANSPRECHVERMÖGENS eines Detektors von der STRAHLUNGSQUALITÄT

3.8

Flachkammer

IONISATIONSKAMMER mit einem Messvolumen von typischerweise $0,01 \text{ cm}^3$ bis $0,5 \text{ cm}^3$, deren Elektroden planparallel zueinander angeordnet sind, wobei die Schichtdicke des Messvolumens in Strahlungseinfallsrichtung wesentlich kleiner ist als in der dazu senkrechten Richtung und kleiner ist als die Breite der Schutzelektrode

3.9

Ionisationsdosimeter

Dosis- oder Dosisleistungsmessgerät, das aus einer IONISATIONSKAMMER mit angeschlossener Messvorrichtung für Strom oder Ladung besteht

3.10

Ionisationskammer

Detektor für ionisierende Strahlung, bestehend aus einer luftgefüllten Kammer, in der ein elektrisches Feld anliegt, das keine Gasverstärkung bewirkt und das an den Elektroden die Ladungen sammelt, die sich aus den im Messvolumen des Detektors durch ionisierende Strahlung erzeugten Ionen und Elektronen ergeben

[DIN EN 60731:2006-09]

3.11

Kalibrierfaktor

N

bei einer Kammereinheit mit zugehörigem Anzeigegerät der Faktor zur Umrechnung der unter BEZUGSBEDINGUNGEN erhaltenen oder auf BEZUGSBEDINGUNGEN korrigierten ANZEIGE in den richtigen Wert der MESSGRÖSSE am BEZUGSPUNKT der IONISATIONSKAMMER

3.12

Kompaktkammer

IONISATIONSKAMMER mit einem Messvolumen von typischerweise $0,01 \text{ cm}^3$ bis $1,0 \text{ cm}^3$, das von einer festen äußeren Elektrode begrenzt wird, an einem Stiel befestigt ist und üblicherweise symmetrisch zur Achse des Stiels angeordnet ist

ANMERKUNG Der Begriff „Stiel“ dient hier als Oberbegriff für die zum elektrischen Anschluss und zur Halterung der Kammer dienende mechanische Konstruktion, die starr oder auch flexibel sein kann.

3.13

Korrektionsfaktor

<Sondenmethode> Zahlenfaktor, mit dem das unberichtigte Messergebnis (Produkt aus der um die Nullanzeige M_0 verminderten ANZEIGE M und dem KALIBRIERFAKTOR N) zum Ausgleich einer systematischen Messabweichung multipliziert wird

ANMERKUNG KORREKTIONSFAKTOREN werden durch Messung und/oder Rechnung ermittelt und sind dementsprechend unsicher. Daher ist ein vollständiger Ausgleich nicht möglich.

3.14

Messgröße

physikalische Größe, der die Messung gilt

[DIN 1319-1:1995-01]

3.15

Messort

<Sondenmethode> Punkt in dem durch die Messsonde ungestörten PHANTOM, für den der MESSWERT der WASSER-ENERGIEDOSIS ermittelt wird

3.16

Messtiefe

<Sondenmethode> Tiefenkoordinate des MESSORTES in dem durch die Messsonde ungestörten PHANTOM

3.17

Messunsicherheit

Kennwert, der aus Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert der MESSGRÖSSE dient

[DIN 1319-1:1995-01]

ANMERKUNG 1 Die MESSUNSICHERHEIT ist ein Maß für die Genauigkeit der Messung und kennzeichnet die Streuung oder den Bereich derjenigen Werte, die der MESSGRÖSSE vernünftigerweise als Schätzwerte für den wahren Wert zugewiesen werden können [11]. Sie kann auch als ein Maß für die Unkenntnis der MESSGRÖSSE aufgefasst werden.

ANMERKUNG 2 Die MESSUNSICHERHEIT kann auch ganz allgemein eine bei der Auswertung von Messungen beteiligte Größe betreffen, ohne dass diese eine MESSGRÖSSE zu sein braucht. Die Benennung STANDARDMESSUNSICHERHEIT wird verwendet, wenn herausgestellt werden soll, dass die MESSUNSICHERHEIT durch eine Standardabweichung ausgedrückt wird.

3.18

Messwert

Wert, der zur MESSGRÖSSE gehört und der Ausgabe eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung eindeutig zugeordnet ist

[DIN 1319-1:1995-01]

3.19

nationales Normal

Normal, das in einem Land durch nationalen Beschluss als Basis zur Festlegung der Werte aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist

[IVM 2:1993]

3.20

Nenngebrauchsbereich

Wertebereich einer EINFLUSSGRÖSSE oder eines Geräteparameters, in dem das Gerät innerhalb der Garantiefehlergrenzen arbeitet

3.21

Primärnormal-Messeinrichtung

Messeinrichtung, die nach allgemeiner Beurteilung die höchsten metrologischen Forderungen erfüllt, und die unabhängig von anderen Messeinrichtungen für dieselbe Größe akzeptiert ist

3.22

Referenzbedingungen

Bedingungen, für die die KORREKTIONSFAKTOREN zur Berücksichtigung des Einflusses der STRAHLUNGSQUALITÄT gelten

3.23

Störungsfaktor

p

Produkt aus Einzelstörungsfaktoren p_i , mit denen die strahlungsqualitätsabhängigen Abweichungen von den BRAGG-GRAY-BEDINGUNGEN berücksichtigt werden. Sie sind in den KORREKTIONSFAKTOREN k_Q und k_E enthalten

3.24

Strahlungsqualitätsindex

Q

Parameter, durch den die RELATIVE SPEKTRALE TEILCHENFLUSSDICHTe einer ULTRAHARTEN PHOTONENSTRAHLUNG charakterisiert wird

[DIN 6814-2:2000-07]

3.25

wasseräquivalente Schichtdicke

d_{aq}

Wasserschichtdicke, die auf die Dosis am MESSORT den gleichen Einfluss hat wie die durchstrahlte Schicht eines anderen Materials

4 Messprinzip und Messverfahren

Bei der Ionisationsdosimetrie wird die Ladung der Ionen eines Vorzeichens gemessen, die durch ionisierende Strahlung in einer IONISATIONSKAMMER erzeugt wurden. Die gebildeten Ionen werden durch ein elektrisches Feld gesammelt, dessen Feldstärke einerseits so groß ist, dass alle Ionen erfasst werden (Sättigung), oder dass ihre Ladung durch Extrapolation auf Sättigung bestimmt werden kann; die Feldstärke ist andererseits so klein, dass Vervielfachung der Ladung durch Gasverstärkung ausgeschlossen ist. Die erzeugte und gesammelte Ladung, die die ANZEIGE bewirkt, ist unter diesen Bedingungen proportional zur mittleren LUFT-ENERGIEDOSIS im Messvolumen, zur Größe des Messvolumens und zur Luftdichte. Nach Kalibrierung wird mit der an ein Anzeigegerät angeschlossenen, luftgefüllten IONISATIONSKAMMER die WASSER-ENERGIEDOSIS oder, mit Bezug auf die Zeit, die WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG gemessen.

Das Messverfahren zur Ermittlung der WASSER-ENERGIEDOSIS am MESSORT in Wasser beruht auf der Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS mit IONISATIONSKAMMERN, die mit ^{60}Co -Gammastrahlung im Wasserphantom zur ANZEIGE der WASSER-ENERGIEDOSIS in der Einheit Gray (Gy) kalibriert sind (siehe 6.2). Messungen der WASSER-ENERGIEDOSIS bei anderen Photonenstrahlungsqualitäten als ^{60}Co -Gammastrahlung und bei ELEKTRONENSTRAHLUNG werden durch die Anwendung von KORREKTIONSFAKTOREN ermöglicht. Die Messergebnisse können durch Multiplikation mit Umrechnungsfaktoren in die materialspezifische ENERGIEDOSIS für andere, die IONISATIONSKAMMER umgebende Materialien umgerechnet werden (siehe DIN 6800-1).

5 Auswahl der Bauart von IONISATIONSKAMMERN für die Dosismessung und für die Ermittlung von Dosisverteilungen

5.1 Allgemeines

Die Wahl einer bestimmten Bauart richtet sich nach

- a) der Messaufgabe,
- b) der STRAHLUNGSQUALITÄT,
- c) den geometrischen Bestrahlungsbedingungen (unter anderem der FELDGRÖSSE),
- d) dem Dosisgradienten am MESSORT und
- e) der Richtungsverteilung aller zur DOSIS am MESSORT beitragenden Strahlungsanteile.

Typische Messaufgaben sind die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS in der REFERENZTIEFE unter Nicht-Referenzbedingungen und die Messung von relativen Dosisverteilungen. Die Bauart der Sonde muss so gewählt werden, dass eine möglichst geringe Störung des STRAHLUNGSFELDES verursacht wird. Die Bauarten sind in 5.2 und 5.3 entsprechend der Verwendung für die jeweilige Strahlungsart und -qualität angegeben.

5.2 PHOTONENSTRAHLUNG mit Grenzenergien von 1 MeV bis 50 MeV

Für Messaufgaben der Dosimetrie von PHOTONENSTRAHLUNG wird die WASSER-ENERGIEDOSIS an dem jeweiligen MESSORT mit einer KOMPAKTKAMMER nach DIN EN 60731 ermittelt. Ausgenommen sind MESSORTE im Anfangsbereich des Dosisaufbaubereiches unterhalb etwa 80 % des Dosismaximums. FLACHKAMMERN werden bei hochenergetischer PHOTONENSTRAHLUNG nur für die Messung von relativen Dosisverteilungen, z. B. im Dosisaufbaubereich und in der Nähe von ebenen Grenzflächen, verwendet.

5.3 ELEKTRONENSTRAHLUNG mit Energien von 3 MeV bis 50 MeV

Für Messaufgaben der Dosimetrie von ELEKTRONENSTRAHLUNG wird empfohlen, die WASSER-ENERGIEDOSIS bei allen STRAHLUNGSQUALITÄTEN mit FLACHKAMMERN nach DIN EN 60731 zu messen. Bei Elektronenenergien mit einer HALBWERTTIEFE R_{50} kleiner als 4 cm, d. h. unterhalb einer mittleren Energie an der Oberfläche von etwa 10 MeV, ist die Verwendung von FLACHKAMMERN zwingend vorgeschrieben, bei höheren Energien können auch KOMPAKTKAMMERN nach DIN EN 60731 verwendet werden.

ANMERKUNG Die Bauweise einer FLACHKAMMER mit einer breiten Schutzelektrode bewirkt, dass der Fluenz-Störungsfaktor für ELEKTRONENSTRAHLUNG (siehe B.4.2) gleich eins wird. Obwohl die Breite der Schutzelektrode der Markus-Kammer nicht den Festlegungen nach DIN EN 60731:2006-09 entspricht, werden die für ihre Anwendung erforderlichen Daten wegen der weiten Verbreitung der Markus-Kammer in dieser Norm angegeben.

6 Allgemeines zur Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS

6.1 Gleichung zur Ermittlung der WASSER-ENERGIEDOSIS

Bei der Sondenmethode ist der MESSWERT der Wert der WASSER-ENERGIEDOSIS D am MESSORT in dem durch die Messsonde ungestörten Wasserphantom. Er wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$D = (M - M_0) \cdot N \cdot \prod_{i=1}^n k_i \quad (1)$$

Dabei ist

- M die ANZEIGE des Dosimeters (bei der im Kalibrierschein angegebenen Kammerspannung und Polarität und bei Positionierung der IONISATIONSKAMMER nach den Regeln dieser Norm),
- M_0 die Nullanzeige des Dosimeters ohne Bestrahlung,
- N der KALIBRIERFAKTOR für die WASSER-ENERGIEDOSIS,
- $\prod k_i$ das Produkt aller KORREKTIONSFAKTOREN.

Die KORREKTIONSFAKTOREN k_i und die entsprechenden EINFLUSSGRÖSSEN sind im Einzelnen:

- k_ρ Luftdichte, siehe 7.1,
- k_h Luftfeuchte, siehe 7.2,
- k_S unvollständige Sättigung, siehe 7.3,
- k_p Polarität der Kammerspannung, siehe 7.4,
- k_r unterschiedliche Positionierung von KOMPAKTKAMMERN bei der Kalibrierung und bei der Messung, siehe 7.6,
- k_T Temperatur, ausgenommen Effekte der Luftdichte, siehe 7.5,
- k_Q STRAHLUNGSQUALITÄT der PHOTONENSTRAHLUNG in der REFERENZTIEFE, siehe 8.2,
- k_E STRAHLUNGSQUALITÄT der ELEKTRONENSTRAHLUNG in der REFERENZTIEFE, siehe 9.2,
- k_{NR} spektrale Verteilung und Richtungsverteilung der Photonen und Elektronen bei Messungen unter Nicht-Referenzbedingungen, siehe 8.3 und 9.3.

Der KORREKTIONSFAKTOR k_Q ist nur bei PHOTONENSTRAHLUNG, der KORREKTIONSFAKTOR k_E nur bei ELEKTRONENSTRAHLUNG anzuwenden. Sowohl bei Messungen unter REFERENZBEDINGUNGEN als auch bei Messungen unter Nicht-Referenzbedingungen sind die jeweiligen Werte der KORREKTIONSFAKTOREN k_ρ bis k_T anzuwenden.

Gleichung (1) beschreibt das Auswertungsmodell zur Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS, das für die Ermittlung der MESSUNSICHERHEIT (siehe Abschnitt 10) nach DIN V ENV 13005 erforderlich ist.

6.2 KALIBRIERFAKTOR und BEZUGSBEDINGUNGEN

Der KALIBRIERFAKTOR eines IONISATIONSDOSIMETERS wird so ermittelt, dass sich unter BEZUGSBEDINGUNGEN die WASSER-ENERGIEDOSIS D aus dem Produkt der ANZEIGE M und des KALIBRIERFAKTORS N ohne KORREKTIONSFAKTOREN ergibt. Die wichtigsten EINFLUSSGRÖSSEN und die zugehörigen BEZUGSBEDINGUNGEN sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Zusammenstellung der EINFLUSSGRÖSSEN und der BEZUGSBEDINGUNGEN

EINFLUSSGRÖSSE	BEZUGSBEDINGUNG
STRAHLUNGSQUALITÄT	^{60}Co -Gammastrahlung
Strahlungseinfallsrichtung	Festgelegte Vorzugsrichtung
Dosisleistung	Keine Sättigungsverluste
Phantommaterial	Wasser
Phantomabmessungen	Quasi-unendlicher Halbraum ^a
MESSTIEFE	5 cm
Temperatur	293,15 K
Druck	101,325 kPa
Luftfeuchte	Relative Luftfeuchte 50 %
Kammerspannung	Bei der Kalibrierung festgelegt
Polarität der Kammerspannung	Bei der Kalibrierung festgelegt
Nullanzeige	Vernachlässigbar
Schutzhülse zur Abdichtung der IONISATIONSKAMMER	Bei der Kalibrierung festgelegt
Positionierung der IONISATIONSKAMMER	BEZUGSPUNKT in 5 cm Tiefe auf dem Zentralstrahl
Abstand Quelle — MESSORT	100 cm
FELDGRÖSSE in 5 cm Tiefe ^b	10 cm x 10 cm
Relativer Gradient der Tiefendosisverteilung in 5 cm Tiefe	0,006 mm ⁻¹

^a Das heißt so groß, dass eine weitere Vergrößerung keine Änderung des MESSWERTES zur Folge hat.

^b FELDGRÖSSE festgelegt durch die Halbwertbreite der lateralen Dosisverteilung im PHANTOM.

Muss eine Kammer im Wasserphantom mit einer Schutzhülse versehen werden, oder ist zur Halterung eine Hülse erforderlich, so darf die Wanddicke (aus einem Material, das ausreichend luft- bzw. wasseräquivalent ist) im Bereich des Messvolumens nicht dicker als 1 mm sein. Die Hülse muss sowohl bei der Kalibrierung als auch bei der Messung verwendet werden.

Der KALIBRIERFAKTOR N eines IONISATIONSDOSIMETERS für die WASSER-ENERGIEDOSIS D wird in einem Kalibrierlabor als das Verhältnis des mit einem Normaldosimeter in der Bezugstiefe gemessenen Wertes der WASSER-ENERGIEDOSIS zu der für BEZUGSBEDINGUNGEN geltenden ANZEIGE M des Dosimeters ermittelt. Die Kalibrierung des Normaldosimeters sollte auf die PRIMÄRNORMAL-MESSEINRICHTUNG der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt rückführbar sein. Das Messergebnis der PRIMÄRNORMAL-MESSEINRICHTUNG wird als richtiger Wert der MESSGRÖSSE angesehen. Die STANDARDMESSUNSICHERHEIT des KALIBRIERFAKTORS muss angegeben sein.

ANMERKUNG 1 Bei den Vergleichsmessungen im Rahmen der Messtechnischen Kontrollen wird davon ausgegangen, dass die Kalibrierungen der Dosimeter auf die PRIMÄRNORMAL-MESSEINRICHTUNG der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt rückführbar sind. Bei Rückführbarkeit auf PRIMÄRNORMAL-MESSEINRICHTUNG anderer Metrologieinstitute können sich geringfügig andere Kalibrierfaktoren ergeben. Dies hat Auswirkungen auf das Ergebnis der Messtechnischen Kontrollen.

ANMERKUNG 2 Bei der Ausführung einer Kalibrierung können nicht immer alle BEZUGSBEDINGUNGEN (z. B. die BEZUGSBEDINGUNGEN für Luftdruck und Temperatur) eingehalten werden. Die Abweichungen sind so berücksichtigt, dass der KALIBRIERFAKTOR für die BEZUGSBEDINGUNGEN gilt.

6.3 EINFLUSSGRÖSSEN und KORREKTIONSFAKTOREN

Die bei der Bestimmung der WASSER-ENERGIEDOSIS vorliegenden Messbedingungen weichen in der Regel von den BEZUGSBEDINGUNGEN ab, für die der KALIBRIERFAKTOR ermittelt wurde. Die Abweichung der EINFLUSSGRÖSSEN von ihren BEZUGSWERTEN bewirkt, dass das Produkt NM vom Wert der WASSER-ENERGIEDOSIS am MESSORT abweicht. EINFLUSSGRÖSSEN können als Störgrößen von außen einwirken (z. B. Temperatur, Luftdichte, Luftfeuchte, Netzspannung), als Geräteeigenschaften aus dem Gerät selbst stammen (Nullpunktwanderung, Alterung der Bauteile, Anlaufzeit usw.), oder als Größen des STRAHLUNGSFELDES, die bei der Ausführung der Messung notwendig sind, in Erscheinung treten (z. B. die STRAHLUNGSQUALITÄT, die Dosisleistung bei der Messung der DOSIS).

Die Auswirkungen der Abweichung der EINFLUSSGRÖSSEN von den BEZUGSBEDINGUNGEN müssen durch Korrekturen berücksichtigt werden. Ein KORREKTIONSFAKTOR berücksichtigt die Auswirkung einer EINFLUSSGRÖSSE, die sich innerhalb ihres NENNGEBRAUCHSBEREICHES ändert, während alle übrigen EINFLUSSGRÖSSEN bei dem für sie festgelegten BEZUGSWERT verbleiben. Die KORREKTIONSFAKTOREN werden in den Abschnitten 0, 8 und 9 im Einzelnen behandelt.

In der Praxis entscheidet die angestrebte MESSUNSICHERHEIT darüber, welche Einflüsse durch Korrekturen erfasst und welche in die MESSUNSICHERHEIT einbezogen werden. Um die MESSUNSICHERHEIT möglichst gering zu halten, sind für alle EINFLUSSGRÖSSEN KORREKTIONSFAKTOREN anzuwenden, wenn deren Wert um mehr als 0,1 % von eins abweicht. Die STANDARDMESSUNSICHERHEIT der KORREKTIONSFAKTOREN ist im Unsicherheitsbudget (siehe Abschnitt 10) zu berücksichtigen, ebenso der durch nicht erfolgte Anwendung von Korrekturen entstehende Beitrag zur MESSUNSICHERHEIT.

6.4 REFERENZBEDINGUNGEN für die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei PHOTONEN- und ELEKTRONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern

Die REFERENZBEDINGUNGEN für Messungen bei anderen STRAHLUNGSQUALITÄTEN als unter BEZUGSBEDINGUNGEN sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie stellen die Bedingungen dar, auf die die KORREKTIONSFAKTOREN k_Q und k_E bezogen sind.

Die in Tabelle 1 angegebenen geometrischen BEZUGSBEDINGUNGEN für die MESSTIEFE und die FELDGRÖSSE sind für Messungen bei anderen Strahlungsarten als der Bezugsstrahlungsqualität ^{60}Co -Gammastrahlung nicht geeignet. Bei PHOTONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern können außerhalb des PHANTOMS entstandene Streuelekttronen das ANSPRECHVERMÖGEN einer IONISATIONSKAMMER beeinflussen. Bei ELEKTRONENSTRAHLUNG ist die Reichweite im Energiebereich unterhalb von 10 MeV nicht ausreichend, um in 5 cm Wassertiefe zu gelangen. Außerdem ändert sich das den KORREKTIONSFAKTOR k_E bestimmende Massen-Stoßbremsvermögensverhältnis von Wasser zu Luft stark in Abhängigkeit von der Tiefe und der FELDGRÖSSE. In der REFERENZTIEFE z_{ref} lässt sich k_E unabhängig von der Beschleunigerbauart mit einer Anpassungsformel ermitteln.

Tabelle 2 — Geometrische REFERENZBEDINGUNGEN für die Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS bei PHOTONEN- und ELEKTRONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern

Strahlungsart	MESSTIEFE in cm	FELDGRÖSSE an der Oberfläche in cm × cm	Fokus-Oberflächen- Abstand in cm
PHOTONENSTRAHLUNG	10	10 × 10	100
ELEKTRONENSTRAHLUNG	z_{ref}^a	20 × 20	100
^a z_{ref} wird nach Gleichung (10) berechnet.			

Für die anderen EINFLUSSGRÖSSEN gelten die BEZUGSBEDINGUNGEN nach Tabelle 1.

ANMERKUNG 1 Im Unterschied zu TRS 398 (FELDGRÖSSE 10 cm x 10 cm) wurde für ELEKTRONENSTRAHLUNG die FELDGRÖSSE 20 cm x 20 cm gewählt, um in der MESSTIEFE den Dosisanteil der an der Elektronenblende gestreuten und hierdurch in Richtung und Energie veränderten Elektronen zu minimieren.

ANMERKUNG 2 Falls die in Tabelle 2 angegebenen Werte der FELDGRÖSSE an der Phantomboberfläche nicht einstellbar sind, können die angegebenen Werte der FELDGRÖSSE alternativ auch in der MESSTIEFE eingestellt werden. Ebenso kann, falls der angegebene Fokus-Oberflächen-Abstand nicht einstellbar ist, alternativ auch ein Fokus-Messort-Abstand von 100 cm verwendet werden. Diese Modifikationen haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Messunsicherheit.

6.5 Nicht-Referenzbedingungen und zugehörige KORREKTIONSFAKTOREN

Bei Messungen in anderen Tiefen, außerhalb des Zentralstrahls, bei anderen FELDGRÖSSEN und bei anderen Fokus-Oberflächen-Abständen ist der KORREKTIONSFAKTOR k_{NR} für Nicht-Referenzbedingungen zu beachten. Die in Abschnitt 10 ermittelten STANDARDMESSUNSICHERHEITEN gelten bei REFERENZBEDINGUNGEN. Die unter Nicht-Referenzbedingungen gemessenen Werte der WASSER-ENERGIEDOSIS sind mit größeren Unsicherheiten behaftet (siehe Abschnitte 8 und 9).

6.6 PHANTOM

Bei der Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS in einem Wasserphantom unter Referenzbedingungen müssen die seitlichen Abmessungen des Wasserphantoms mindestens 5 cm größer sein als die verwendete FELDGRÖSSE in der MESSTIEFE, und die Tiefe des Wasserphantoms muss mindestens 5 cm größer sein als die maximale MESSTIEFE.

Wird bei seitlicher Einstrahlung in das Wasserphantom eine Phantomwand der Schichtdicke d_{Wand} durchstrahlt, so geht deren WASSERÄQUIVALENTE SCHICHTDICKE $d_{aq} = \frac{\rho_{e,Wand}}{\rho_{e,w}} \cdot d_{Wand}$ in die MESSTIEFE ein. Dabei sind

$\rho_{e,Wand}$ und $\rho_{e,w}$ die Elektronendichten von Wandmaterial und Wasser (siehe Tabelle 3). Der Fokus-Messort-Abstand bleibt unverändert.

6.7 Positionierung von IONISATIONSKAMMERN bei der Messung

6.7.1 BEZUGSPUNKTE VON KOMPAKTKAMMERN UND FLACHKAMMERN

Die Positionierung einer IONISATIONSKAMMER im PHANTOM wird mithilfe der Koordinaten ihres BEZUGSPUNKTES im Koordinatensystem des PHANTOMS beschrieben. Bei KOMPAKTKAMMERN ist der BEZUGSPUNKT ein Punkt auf der Kammerachse in der Nähe des Schwerpunktes des Messvolumens. Bei FLACHKAMMERN ist der BEZUGSPUNKT der Mittelpunkt der Innenseite des Strahlungseintrittsfensters. Wenn möglich, wird die Lage des BEZUGSPUNKTES vom Hersteller durch Markierungen auf der Oberfläche der IONISATIONSKAMMER gekennzeichnet.

6.7.2 Positionierung von KOMPAKTKAMMERN

KOMPAKTKAMMERN werden im PHANTOM so positioniert, dass der Bezugspunkt um $r/2$, den halben Innenradius der äußeren Messelektrode, tiefer liegt als der MESSORT.

ANMERKUNG 1 Damit ist die Tiefe, in welcher der BEZUGSPUNKT positioniert wird, um $r/2$ größer als die MESSTIEFE.

ANMERKUNG 2 Durch die angegebene Positionierung wird die Verdrängung von Phantommaterial durch das Luftvolumen der IONISATIONSKAMMER sowie der Einfluss der Krümmung der Kammerwand auf die Eintrittsorte der Sekundärelektronen in das Messvolumen berücksichtigt.

Die Anwendung von KOMPAKTKAMMERN zur Dosismessung im Aufbaubereich der Tiefendosisverteilung von Photonenstrahlung nach dieser Positionierungsregel wird nur für den Tiefenbereich mit mehr als 80 % der Maximaldosis empfohlen.

6.7.3 Positionierung von FLACHKAMMERN

FLACHKAMMERN werden im PHANTOM so positioniert, dass die äquivalente Wassertiefe des BEZUGSPUNKTES mit der MESSTIEFE in Wasser übereinstimmt. Die äquivalente Wassertiefe des BEZUGSPUNKTES ist die Summe aus der Wassertiefe der Frontfläche der FLACHKAMMER und der WASSERÄQUIVALENTEN SCHICHTDICKE des

Strahlungseintrittsfensters $d_{\text{aq}} = \sum_i \frac{\rho_{\text{e},i}}{\rho_{\text{e},\text{w}}} d_i$. Der Index i bezeichnet eine Materialschicht mit der Dicke d_i und

der volumenbezogenen Elektronendichte $\rho_{\text{e},i}$, und $\rho_{\text{e},\text{w}}$ ist die Elektronendichte von Wasser (siehe Tabelle 3). Eine eventuell vorhandene Schutzkappe der FLACHKAMMER ist in dieser Summe zu berücksichtigen. Die Eintrittsebene der FLACHKAMMER muss senkrecht zur Vorzugsrichtung der Strahlung angeordnet werden.

ANMERKUNG 1 Demnach ist der BEZUGSPUNKT der FLACHKAMMER in die Tiefe $z_{\text{B}} = z_{\text{m}} + d_{\text{f}} - d_{\text{aq}}$ zu bringen; dabei bezeichnet z_{m} die Messtiefe im ungestörten Wasserphantom und $d_{\text{f}} = \sum d_i$ die Dicke des Strahlungseintrittsfensters, einschließlich der eventuell vorhandenen Schutzkappe.

ANMERKUNG 2 Die unter Berücksichtigung der Elektronendichten berechnete („skalierte“) WASSERÄQUIVALENTE SCHICHTDICKE des Strahlungseintrittsfensters gewährleistet bei Photonenstrahlung die gleiche Wahrscheinlichkeit von Compton-Streuprozessen und bei Elektronenstrahlung in guter Näherung den gleichen mittleren Energieverlust durch Kollisionen wie das tatsächliche Strahlungseintrittsfenster.

ANMERKUNG 3 Die angegebene Berechnung der äquivalenten Wassertiefe des BEZUGSPUNKTES stellt eine für die klinische Dosimetrie ausreichende Näherung dar. Anhang B.2.2 enthält Angaben über noch eingehendere Untersuchungen der äquivalenten Wassertiefe des BEZUGSPUNKTES von FLACHKAMMERN.

Tabelle 3 — Elektronendichte (Elektronenzahl/Volumen) $\rho_{\text{e}} = (\rho/m_{\text{u}}) (Z/A_{\text{r}})_{\text{eff}}$ ^a für einige Stoffe

Stoff	Chemische Bruttoformel oder Massenanteile	Dichte ρ in g cm^{-3}	$(Z/A_{\text{r}})_{\text{eff}}$	ρ_{e} in 10^{23} cm^{-3}	$\rho_{\text{e}}/\rho_{\text{e},\text{w}}$
Wasser	H ₂ O (20°C)	0,998	0,555 1	3,336	1,000
Polystyrol	C ₈ H ₈	1,029	0,537 7	3,332	0,999
RW3	98 % Polystyrol + 2 % TiO ₂	1,045	0,536 4	3,376	1,012
Polyethylen niedriger Dichte	CH ₂	0,92	0,570 3	3,160	0,947
Polyethylen hoher Dichte	CH ₂	0,94	0,570 3	3,228	0,968
Solid water (RMI-457)	H 0,081; C 0,672; N 0,024; O 0,198; Cl 0,001; Ca 0,023	1,030	0,539 5	3,346	1,003
PMMA	C ₅ H ₈ O ₂	1,19 ^b	0,539 4	3,833	1,149

^a m_{u} ist die Atommassenkonstante ($m_{\text{u}} = 1,660 54 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$), und A_{r} ist die relative Atommasse.

^b Herstellerangaben beachten.

7 Ermittlung der strahlungsqualitätsunabhängigen KORREKTIONSFAKTOREN

7.1 KORREKTIONSFAKTOR k_p für den Einfluss der Luftdichte

Der KORREKTIONSFAKTOR k_p für die Luftdichte berücksichtigt bei offenen IONISATIONSKAMMERN die Einflüsse des Luftdrucks p und der Temperatur T :

$$k_p = \frac{p_0 T}{p T_0} \quad (2)$$

Die BEZUGSWERTE von Luftdruck und Temperatur sind nach Tabelle 1 $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ und $T_0 = 293,15 \text{ K}$ ($= 20 \text{ °C}$).

ANMERKUNG 1 Näheres zur Ermittlung des Luftdruckes, siehe [3].

ANMERKUNG 2 Bei Diskrepanzen zwischen den nach Gleichung (2) berechneten und den mit der radioaktiven Kontrollvorrichtung erhaltenen Werten des Korrekturfaktors k_p müssen die Ursachen untersucht werden (z. B. durch Überprüfung der Messgeräte).

7.2 KORREKTIONSFAKTOR k_h für den Einfluss der Luftfeuchte

Eine Korrektur für den Einfluss der Luftfeuchte k_h ist innerhalb der durch DIN EN 60731:2006-09 festgelegten Grenzen des Mindest-NENNGEBRAUCHSBEREICHES der relativen Luftfeuchte von 30 % bis 75 % und der absoluten Luftfeuchte (Wasserdampfdichte) von $\rho_w \leq 20 \text{ g m}^{-3}$ im Allgemeinen nicht erforderlich. Der Einfluss der Luftfeuchte ist im Unsicherheitsbudget zu berücksichtigen. Weitere Angaben finden sich in Anhang D.

7.3 KORREKTIONSFAKTOR k_s für den Einfluss der unvollständigen Sättigung

Bei hohen Dosisleistungen tritt ein Verlust an Ionen durch Rekombination ein („unvollständige Sättigung“). Der Effekt hängt außer von der Dosisleistung bzw. der DOSIS je Puls von der Geometrie der Kammer und der angelegten Kammer-Spannung ab. Er wird durch den KORREKTIONSFAKTOR k_s berücksichtigt.

Für die in Tabelle 4 angegebenen Bauarten von IONISATIONSKAMMERN wird der KORREKTIONSFAKTOR k_s für gepulste Strahlung nach folgender Zahlenwertgleichung berechnet (siehe Anhang A):

$$k_s = 1 + \frac{\gamma + \delta \cdot D^p}{U} \quad (3)$$

Dabei ist D^p die WASSER-ENERGIEDOSIS pro Puls am MESSORT, ausgedrückt in mGy, und U die Kammer-Spannung in V. Der Koeffizient γ berücksichtigt Verluste aufgrund der Anfangsrekombination und der Diffusion, δ aufgrund der Volumenrekombination. Werte für die Koeffizienten sind Tabelle 4 zu entnehmen. Gleichung (3) gilt nur für die in Tabelle 4 angegebenen Pulsdosen und Bereiche der Betriebsspannung U der IONISATIONSKAMMER. Weiterhin muss die Frequenz der Strahlungspulse kleiner als der Kehrwert der IONENSAMMELZEIT bei der verwendeten Kammer-Spannung sein.

Tabelle 4 — Berechnung des Korrektionsfaktors k_s : Werte für die in Gleichung (3) einzusetzenden Koeffizienten, angegeben für typische Bauarten von IONISATIONSKAMMERN, sowie Gültigkeitsbereiche von Gleichung (3) für die Dosis pro Puls D^p und Kammerspannung U

Bauart der IONISATIONSKAMMER	γ in V	δ in V mGy ⁻¹	WASSER-ENERGIEDOSIS pro Puls D^p in mGy	Kammer- spannung U in V	IONENSAMMELZEIT in ms
PTW 30006/30013 Farmer	0,01	3,44	0,15 – 0,35 > 0,35 – 42	100 – 300 300 – 400	0,13 bei 400 V
PTW 23332 Rigid	0,13	1,05	0,15 – 0,5 > 0,5 – 5,5	100 – 250 250 – 400	0,05 bei 400 V
PTW 31002/31010 Flexible	0,38	2,40	0,15 – 0,6 > 0,6 – 5,5	100 – 300 300 – 400	0,17 bei 400 V
PTW 34001 Roos	0,06	1,69	0,15 – 0,5 > 0,5 – 42	50 – 200 200 – 300	0,13 bei 200 V
PTW 34045 Advanced Markus	0,43	0,49	0,25 – 1,0 > 1,0 – 5,5	50 – 200 200 – 300	0,02 bei 300 V
PTW 23343 Markus	0,32	1,99	0,15 – 0,55 > 0,55 – 3,0	100 – 250 250 – 300	0,09 bei 300 V
Scdx-Wellhöfer PPC40	0,07	1,54	0,25 – 0,5 > 0,5 – 2,0	100 – 150 150 – 500	0,09 bei 300 V
Scdx-Wellhöfer NACP02	0,48	2,37	0,25 – 1,0 > 1,0 – 1,3 > 1,3 – 2,0	100 – 150 150 – 200 200 – 400	0,13 bei 200 V

ANMERKUNG Die in Tabelle 4 angegebenen Werte wurden [4] entnommen.

Für Werte der Dosis je Puls, die außerhalb der in der Tabelle 4 angegebenen Werte liegen, für kontinuierliche Strahlung und für Kammern, die nicht in Tabelle 4 aufgeführt sind, ist k_s nach Anhang A experimentell zu ermitteln.

Für gepulste und periodisch abgelenkte Strahlung („swept-beam“ oder „scanning-beam technique“ bei ELEKTRONENSTRAHLUNG) wird k_s nach TRS 398 bestimmt.

7.4 KORREKTIONSFAKTOR k_p für den Einfluss der Polarität der Kammerspannung

Die Abhängigkeit des Betrages der ANZEIGE von der Polarität der Kammerspannung rührt unter anderem daher, dass die Anzahl der Elektronen, die aus dem umgebenden Material in die Messelektrode einschließlich Zuleitung ein- und aus ihr austreten, verschieden ist. Die Differenz aus den Ladungen dieser Elektronen erhöht oder erniedrigt die ANZEIGE, was beim Umpolen der Kammerspannung sichtbar wird.

Der Polaritätseffekt tritt sowohl bei PHOTONEN- als auch bei ELEKTRONENSTRAHLUNG auf. Er hängt von der Strahlungsart und -qualität, bei ELEKTRONENSTRAHLUNG auch von der Tiefe im PHANTOM und der FELDGRÖSSE, sowie von der Kammerbauart, insbesondere von der Größe und Dicke der Messelektrode, ab. Dieser Effekt weist auch eine Exemplarstreuung auf. Daher muss jede Kammer einzeln überprüft werden.

Der KALIBRIERFAKTOR einer Kammer gilt für die im Kalibrierschein angegebene Polarität (Polarität 1) und ist daher durch den Polaritätseffekt bei BEZUGSBEDINGUNGEN beeinflusst. Wird die Kammer bei anderen STRAH-

LUNGSQUALITÄTEN als der Bezugsstrahlungsqualität verwendet, so ändert sich der Polaritätseffekt relativ zu dem bei ^{60}Co -Gammastrahlung. Diese Änderung wird mit dem KORREKTIONSFAKTOR k_p berücksichtigt nach:

$$k_p = \frac{\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1} \right)_{Q.E.}}{\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1} \right)_{\text{Co}}} \quad (4)$$

Dabei ist M_1 der Betrag der ANZEIGE bei der gewöhnlich benutzten Polarität der Kammerspannung, M_2 derjenige bei der entgegengesetzten Polarität. Die ANZEIGEN M_1 und M_2 sind mit der gleichen DOSIS zu erzeugen. Der Index Co bezieht sich auf die Messung bei ^{60}Co -Gammastrahlung. Wenn ^{60}Co -Gammastrahlung nicht zur Verfügung steht, kann zur Bestimmung des Nenners in Gleichung (4) anstelle der Messung bei ^{60}Co -Gammastrahlung näherungsweise die Photonenstrahlungsqualität mit der niedrigsten verfügbaren Grenzenergie (möglichst im Bereich von 4 MeV bis 6 MeV) verwendet werden. Auf die Änderung der Luftdichte während der Messung ist zu achten, und ggf. ist ihre Auswirkung zu korrigieren.

Das ANSPRECHVERMÖGEN einer Kammer darf sich bei der Umpolung der Kammerspannung und bei den vorgesehenen Betriebsbedingungen (Strahlungsart, MESSTIEFE im PHANTOM usw.) um nicht mehr als 1 % ändern (siehe DIN EN 60731:2006-09). Vor Verwendung von ANZEIGEN nach der Umpolung sollte sich das ANSPRECHVERMÖGEN stabilisiert haben. Die Kontrolle des Polaritätseffektes und die Ermittlung von k_p sollten nach Herstelleranweisung ausgeführt werden.

7.5 KORREKTIONSFAKTOR k_T für andere Temperatureffekte als die Änderung der Luftdichte

Die Temperatur beeinflusst das ANSPRECHVERMÖGEN nicht nur über die Luftdichte (siehe KORREKTIONSFAKTOR k_p nach 7.1), sondern auch über Bauteile des Anzeigegerätes und der IONISATIONSKAMMER. In der Regel ist der funktionale Zusammenhang zwischen k_T und Temperatur nicht bekannt. In diesem Fall muss für k_T der Wert 1,0 angenommen werden, eventuelle Temperatureinflüsse sollen im Unsicherheitsbudget berücksichtigt werden.

7.6 KORREKTIONSFAKTOR k_r für den Einfluss der unterschiedlichen Positionierung von KOMPAKTKAMMERN bei der Kalibrierung und bei der Messung

Bei der Kalibrierung einer KOMPAKTKAMMER im Kalibrierlaboratorium mit ^{60}Co -Gammastrahlung wird der auf der Kammerachse liegende BEZUGSPUNKT in die Bezugstiefe im PHANTOM gebracht. Bei der Messung der WASSER-ENERGIEDOSIS nach Gleichung (1) werden jedoch, wie in 6.7 festgelegt, KOMPAKTKAMMERN im Phantom so positioniert, dass der BEZUGSPUNKT um $r/2$ tiefer liegt als der MESSORT. Hierdurch erreicht man, wie in Anhang B ausführlich dargelegt, eine durch den Verdrängungseffekt nicht beeinflusste ENERGIEABHÄNGIGKEIT des Ansprechvermögens im Bereich der PHOTONENSTRAHLUNG aus Beschleunigern sowie eine einheitliche Positionierungsvorschrift für den ansteigenden und den abfallenden Bereich der Photonen-Tiefendosiskurve und für die Elektronendosimetrie.

Würde man die Ionisationskammer bei der Kalibrierung wie bei der Messung positionieren, hätte der KALIBRIERFAKTOR entsprechend der Tiefendosisverteilung einen höheren Zahlenwert, da sich die Kammer dann in einer um $r/2$ größeren Phantomtiefe befände. Für Messungen enthält daher Gleichung (1) neben dem Faktor N immer den Faktor $k_r > 1$. Zur Berechnung von k_r gilt die Beziehung

$$k_r = 1 + \left| \delta \right| \frac{r}{2} \quad (5)$$

r ist der Innenradius der äußeren Messelektrode; $|\delta|$ ist der Betrag des relativen Gradienten der Tiefendosis-kurve in der Bezugstiefe bei der Kalibrierung mit ^{60}Co -Gammastrahlung. Unter den Bezugsbedingungen nach Tabelle 1 gilt $|\delta| = 0,006 \text{ mm}^{-1}$.

Korrektionsfaktoren k_r sind in Tabelle 5 angegeben. Falls für eine Bauart kein Wert für k_r angegeben ist, kann dieser mit Gleichung (5) berechnet werden.

ANMERKUNG Bei der Kalibrierung wird die Verschiebung um $r/2$ nicht durchgeführt, damit künftig mögliche neue Erkenntnisse über die erforderliche Verschiebung des Bezugspunktes nicht zu Änderungen der Kalibrierfaktoren führen.

Tabelle 5 — Werte des Korrektionsfaktors k_r für Kompaktkammern

Bauart der IONISATIONSKAMMER	Innenradius des Kammervolumens in mm	KORREKTIONSFAKTOR k_r
Capintec PR-05P mini	2,0	1,006
Capintec PR-05 mini	2,0	1,006
Capintec PR-06C/G Farmer	3,2	1,010
Exradin A2 Spokas	4,8	1,014
Exradin T2 Spokas	4,8	1,014
Exradin A1 mini Shonka	2,0	1,006
Exradin T1 mini Shonka	2,0	1,006
Exradin A12 Farmer	3,1	1,009
Far West Tech IC-18	2,3	1,007
FZH TK 01	3,5	1,011
Nuclear Assoc 30-750	2,0	1,006
Nuclear Assoc 30-749	3,0	1,009
Nuclear Assoc 30-744	3,0	1,009
Nuclear Assoc 30-716	3,0	1,009
Nuclear Assoc 30-753 Farmer shortened	3,1	1,009
Nuclear Assoc 30-751 Farmer	3,1	1,009
Nuclear Assoc 30-752 Farmer	3,1	1,009
NE 2515	3,0	1,009
NE 2515/3	3,2	1,010
NE 2577	3,2	1,010
NE 2505 Farmer	3,0	1,009
NE 2505/A Farmer	3,0	1,009
NE 2505/3,3A Farmer	3,2	1,010
NE 2505/3,3B Farmer	3,2	1,010
NE 2571 Farmer	3,2	1,010
NE 2581 Farmer	3,2	1,010
NE 2561/2611 Sec Std	3,7	1,011
PTW 23323 Micro	1,6	1,005
PTW 23331 Rigid	4,0	1,012
PTW 23332 Rigid	2,5	1,008
PTW 23333 Farmer	3,1	1,009
PTW 30001/30010 Farmer	3,1	1,009
PTW 30002/30011 Farmer	3,1	1,009
PTW 30004/30012 Farmer	3,1	1,009